

中温化アスファルトの製造検討

中央技術研究所 燃料研究所 燃料技術グループ なかむら よしかず
中村 好和



1. はじめに

近年、二酸化炭素排出量の抑制等地球環境の保全に配慮した中温化アスファルト舗装が注目されている。中温化アスファルト舗装は、工事で使用する加熱アスファルト混合物の製造・施工温度を30℃程度低減可能とする舗装である。そのメカニズムは、発泡系、粘弾性調整系および潤滑剤系（界面活性剤）に分類される特殊添加剤により、アスファルト混合物の流動性を一時的に低下させ混合物の製造・施工温度を低下させる。

発泡系の中温化剤は、アスファルト混合物中に微細泡を発生・分散させ見掛け上のアスファルト容積を増加させることにより、製造時の混合性および舗設時の締固め性（ベアリング効果）を向上させる。粘弾性調整系の中温化剤は、常温では固体的性質を示し、一定の温度以上になると急激に液体となりアスファルトの粘弾性を低下させることから混合物の製造・施工温度が低下する。また、潤滑剤系の中温化剤は、融点以上になるとアスファルトに溶解してアスファルトとの界面における潤滑を高めることにより、磨耗抵抗性を低減させ混合物の製造・施工温度を低下させる。¹⁾

本報告では、新たに導入した石油精製工程で生産される特定の基材を選定・混合し、アスファルト組成を制御することにより、中温化剤を必要としない、従来のストレートアスファルトと同様な取り扱いができる、新たなタイプの中温化アスファルトの製造方法について見出した。また、この中温化アスファルトは、副産物とされるアスファルト基材の有効利用・付加価値向上にも繋がるものであり、今後大いに期待される。

2. アスファルトの製造方法と特徴

アスファルトを製造する場合に最も重要なことは原油の選定である。原油は一般的には比重を基準としたAPI度で区分されており、軽質原油（API度38.99～34.00）、中質原油（33.99～30.00）、重質原油（29.99～26.00）等に分類される。

ストレートアスファルトは、アスファルテン含有量の比較的多いアラビアンヘビー（AHY）、カフジ（KHF）、クエート（KWT）原油などの特定の重質原油を主体とした混合原

油より図1に示すフローで製造される。

まず、混合原油を常圧蒸留装置で250～350℃に加熱し、LPG、ナフサ、灯油、軽油等の比較的沸点の低い留分を分留して常圧残油を得る。

次いで、常圧残油を1.3～13kPaに減圧された減圧蒸留装置で350～420℃に加熱し、減圧軽油を分留してアスファルト基材となる減圧蒸留残油を得る。

また、減圧蒸留残油中に含まれている高粘度の潤滑油原料を採取する目的で行われるプロパン脱れきプロセス（PDA：Propane De-asphalting Process）の残渣を基材として製造されるものもある²⁾。

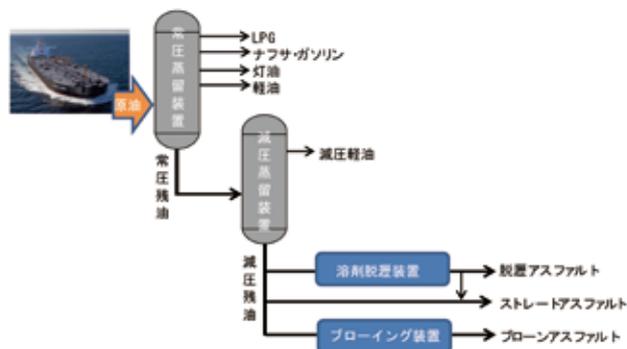


図1 アスファルトの生産工程

図2、3に異なる原油種から採取した針入度^{注)}70（1/10mm）アスファルトの120℃動粘度と組成を示す。なお、軽質原油からの針入度70アスファルト採取は、通常の減圧蒸留では分解する可能性があるため、特殊な減圧蒸留装置（分子蒸留装置：Leybolt Heraeus社製DISTA装置、蒸留圧力0.001kPa、原料油蒸留能力：400ml/h）を用いて採取した。

注) アスファルトの硬さを示す指標で針入度が大きいほど柔らかい。

軽・中質原油のアラビアンエクストラライト（AXL）、マールバン（MUB）、オマーン（OMN）、アップーザクム（UZK）と重質原油のクエート（KWT）、アラビアンヘビー（AHY）、カフジ（KHF）のそれぞれの120℃動粘度、組成（JPI法：カラムクロマトグラフィー法）を比較すると、軽・中質原油から採取したアスファルトは重質原油から採取したアスファルトに比べ120℃動粘度が低く、組成的にはアスファルテンが少ない傾向にあるため、アスファルト製造には不向き

である。但し、中質原油のオマーン原油から採取したアスファルトは特殊で、アスファルテンがほとんど存在しないにもかかわらず他のアスファルトに比べ極端に120℃動粘度が高い。これはアスファルテン以外の組成(マルテン：飽和分、芳香族分、レジン)の分子量が高いことに起因しているものと考えられる。

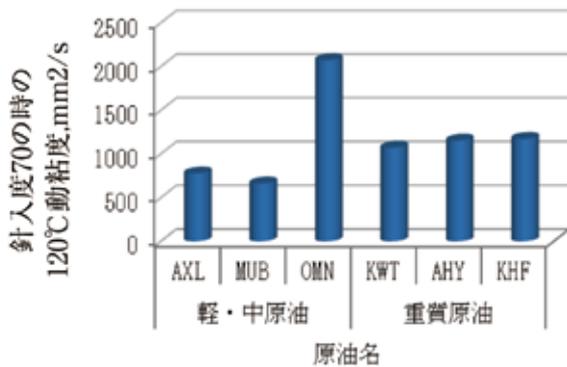


図2 各原油の針入度70アスファルトの120℃動粘度

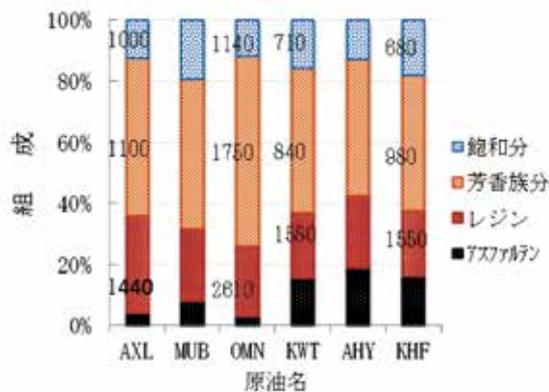


図3 各原油の針入度70アスファルトの組成
※数字は分子量 (Mw) を示す

3. 検討結果

3.1 検討試料

本報の新たなタイプの中温化ストレートアスファルトは、重質油処理プロセスの中でもブタンやペンタン等のプロパンより重質な炭化水素を用い、減圧蒸留残油中の軽質留分を最大限抽出・回収する溶剤脱れきプロセス (SDA プロセス) から生成する残渣と原油種の異なる減圧蒸留残油をブレンドすることにより製造する方法で検討した。

表1に各種溶剤を用いたSDAプロセスからの残渣、表2に減圧蒸留残油の組成および性状を示す。SDA残渣は使用する溶剤の分子量が大きくなるほどアスファルテン濃度が上昇し、針入度も小さくなる。また、減圧蒸留残油は原油種により組成、性状が大きく異なる。

なお、本試験で採取した減圧蒸留残油は、原油種の異なる軽・中質原油 (A、B、C) を実機減圧蒸留装置で処理した際に採取した高針入度塔底油である。

表1 各種溶剤によるSDA残渣の組成および性状

		SDA残渣			
		プロパン	ブタン	ペンタン	
組成	飽和分	mass%	5.0	8.6	6.7
	芳香族分	mass%	56.0	27.7	6.8
	レジン	mass%	30.2	26.6	6.2
	アスファルテン	mass%	8.8	37.1	80.3
性状	針入度	1/10mm	14	1	1
	軟化点	℃	59.0	93.0	139.0

表2 減圧蒸留残油の組成および性状

		減圧蒸留残油			
		A	B	C	
組成	飽和分	mass%	17.6	21.9	26.9
	芳香族分	mass%	51.9	52.3	44.8
	レジン	mass%	24.4	19.4	27.5
	アスファルテン	mass%	6.1	6.4	0.8
性状	密度 (15℃)	g/cm ³	1.022	1.016	0.994
	100℃動粘度	mm ² /s	1230	850	492

3.2 アスファルト性状

中温化アスファルト舗装は、従来の舗装品質を確保しながらアスファルト混合物の製造・施工温度を30℃程度低くすることのできる技術である。また、施工可能温度域が広がるため、寒冷地の施工性が改善できることや、アスファルト混合場所からこれまでより遠方の施工現場に加熱アスファルト混合物を供給することが可能な技術である。同様なコンセプトに対応したアスファルトとしては、既に、アスファルトの粘度低減剤(粘弾性調整系)として常温では固体状態であり、温度を高めると流体に変わる特性を持つ軟化点130℃、結晶化度90程度のポリオレフィンワックスを添加した中温化アスファルト(以後、WAX配合アスファルトとする)が開発されている³⁾。

一方、本報においては、更に石油精製技術を利用し、アスファルトそのものに中温化アスファルト舗装に適する性状をもたせることで、特殊な添加剤の使用を必要としない新たなタイプの中温化アスファルトの製造を目的に検討を行った。

アスファルト性状は、その組成に起因するため組成に着目し検討を行った。アスファルトは、原料である原油がきわめて多種類の炭化水素からできているうえに、アスファルトが減圧蒸留後の残渣油であることから、これらの炭化水素のうち高分子量で構造が複雑なものが残っている。

そこで、化学特性の似通った成分をいくつかのグループに分け⁴⁾、その特徴を調べることにより、全体としてのアスファルトの化学的性質⁵⁾をとらえることを検討した。

中温化アスファルト基材に選定したSDA残渣は、直鎖の炭化水素が取り除かれているため、相対的に芳香族炭化水素に富んでいる特徴がある。アスファルテン分が

80mass% 程度占めるものもあるが、トルエン不溶分は存在しないので、容易に減圧残油とのブレンドが可能である。新たなタイプの中温化アスファルトの開発に際しては、各種基材の組成を重視し選定・混合することにより、WAX配合アスファルトと同様の性状、組成を持つアスファルトを目標にした⁶⁾。

その結果、アスファルテンが比較的多いSDA 残渣とアスファルテンがほとんどなく飽和分が多い減圧蒸留残油をブレンドすることにより表3に示すとおり、目標の性状を有するアスファルト(以下開発品と称する)が製造可能となった。なお、本開発品は、JIS規格を満たし一般のストレートアスファルト60/80同様の性状を有していた。

また、開発品はWAX配合アスファルト同様にストレートアスファルト60/80に比べ高温(120℃、150℃、180℃)時の動粘度が低い特性があった(図4)。これは、開発品とWAX配合アスファルトのアスファルテンがストレートアスファルト60/80に比べ少ない(図5)ことに起因しているものと考えられる。

3.3 劣化アスファルトの性状

アスファルトの劣化は、アスファルト混合物の製造、貯蔵(サイロ)、施工時及び供用期間中に、熱、空気(酸素)、紫外線等に曝される事で次第に粘性を失い、ひび割れしやすい性状へと変化(劣化)していく事であるが、いずれも広い意味では、アスファルト組成の変化に他ならない。

劣化の初期段階は、主として低分子量成分の蒸発が起り、第二段階では酸化による架橋反応、重合反応および主鎖の切断等が生じるものと推測される。即ち、アスファルトの劣化を化学組成の変化の点から調べると、アスファルテンは経時変化とともに増加し、レジン分がこれと対照的に減少しているため針入度が低下する。

これらの現象を室内で再現する方法として薄膜加熱試験(TFOT: Thin Film Oven Test, 163℃×5時間)、加圧劣化試験(PAV: Pressure Aging Vessel, 100℃×20時間×2.07MPa)が用いられている⁷⁾。

開発した中温化アスファルトの劣化挙動を確認するためTFOTおよびPAVにより加速劣化試験を行った。

表3 開発品の一般性状

試験項目、使用基材			開発品	WAX配合アスファルト	ストレートアスファルト	JIS規格
基 材	SDA残渣	mass%	24.0	-	-	
	減圧残油	mass%	76.0	-	-	
	ストレートアスファルト(60/80)	mass%	-	100.0	100	
	ポリオレフィンワックス	mass%	-	3.0	-	
性 状	密度(15℃)	g/cm ³	1.025	1.022	1.040	1.000以上
	伸度(15℃)	cm	100+	100+	100+	100以上
	引火点	℃	368	353	358	260以上
	針入度(25℃)	1/10mm	69	69	69	60~80
	蒸発後の針入度比	%	96	98	95	110以下
	軟化点	℃	46.0	60.5	47.0	44.0~52.0
	トルエン可溶分	mass%	99.90	99.90	99.97	99.0以上
	薄膜加熱質量変化率	mass%	+0.10	+0.10	+0.10	0.6以下
	薄膜加熱後の針入度残留率	%	65.8	66.5	69.6	55以上

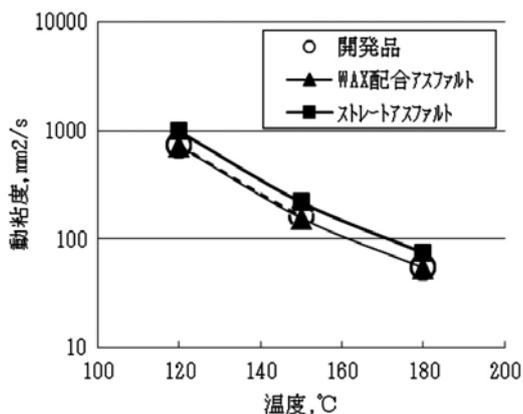


図4 各種アスファルトの動粘度比較

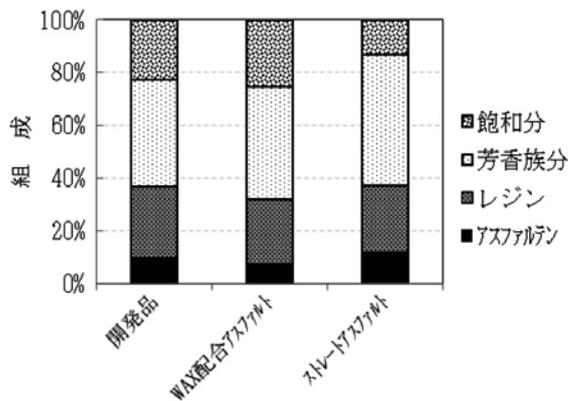


図5 各種アスファルトの組成比較

図6に示す通り、開発品のTFOTおよびPAV劣化後の針入度はストレートアスファルトと比較し劣化程度が緩和している。これは開発品が、アスファルテンがほとんどなく、飽和分が多いという比較的特殊な組成の減圧蒸留残油のブレンド品であることに起因していると推測される。

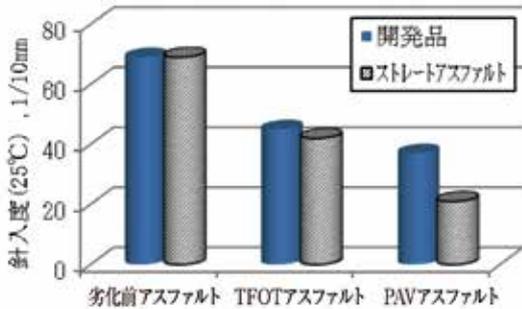


図6 劣化アスファルトの針入度の比較

また、動的粘弾性試験⁸⁾(Dynamic Shear Rheometer)により求めた変形抵抗性を示す G^* (複素弾性率)と弾性あるいは粘性の度合いを表す $\tan \delta$ (損失正弦)の関係を図7に示す。TFOT、PAVにおいて開発品とストレートアスファルトの差異は見られず、同一のライン上にプロットされる結果となった。 G^* は異なる性質を示す2つの弾性率、すなわち貯蔵弾性率(G' :弾性項)と損失弾性率(G'' :粘性項)の合成関数である。また G' と G'' の比が損失正弦($\tan \delta = G''/G'$)である。つまり、中温化アスファルトの劣化の程度は異なるものの、その劣化挙動は同様であることが確認された。

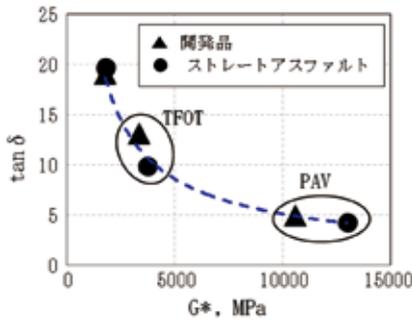


図7 劣化アスファルトの動的粘弾性の比較

3.4 室内混合物試験

通常ストレートアスファルト混合物は、加熱した骨材と加熱溶融状態のアスファルトを混合し製造される。ストレートアスファルト60/80の場合、150～165℃の高温で混合製造し、140～150℃で施工されている。中温化舗装は、この加熱アスファルト混合物に中温化剤(発泡系、粘弾性調整系、潤滑系等)を加えることで、従来より30℃程度低い混合温度、施工温度とすることが可能である。

開発品を用いた室内混合物試験を行った。使用骨材は、密粒度アスファルトコンクリート(13)の標準粒度で実施し、配合割合は2.36mmおよび4.75mm通過が基準粒度範囲の中央付近となるように設定した(図8)。

骨材配合割合を表4に示す。

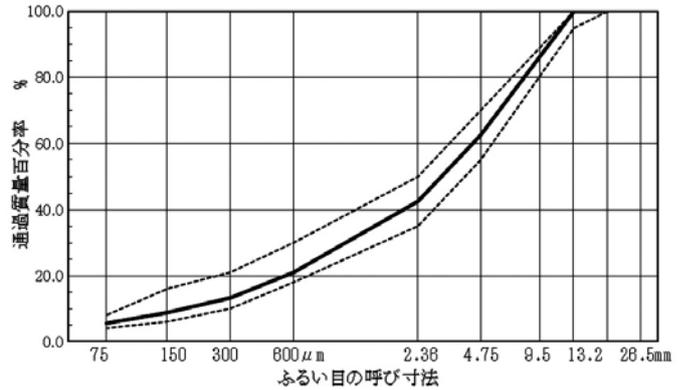


図8 骨材粒度曲線

表4 骨材配合

配合比, %	密粒度アスファルトコンクリート(13)
6号碎石	38.0
7号碎石	19.5
粗砂	37.5
石粉	5.0
設計アスファルト量, %	5.5

(1) 混合物の締固め特性

開発品を用いた混合物の締固め特性を把握するため、締固め温度を変化させたマーシャル供試体の作製を行った。比較試料として当社製油所のENEOS60/80ストレートアスファルトを使用した。なお、その指標である締固め度は以下の式から求めた。

$$\text{締固め度}(\%) = \frac{\text{アスファルト混合物の密度}}{\text{基準密度}} \times 100$$

ストレートアスファルト60/80は、最適締固め温度が145℃であるのに対して、開発品はその温度より30℃低い115℃でも同等の締固め度を確保できることが分かった(図9)。

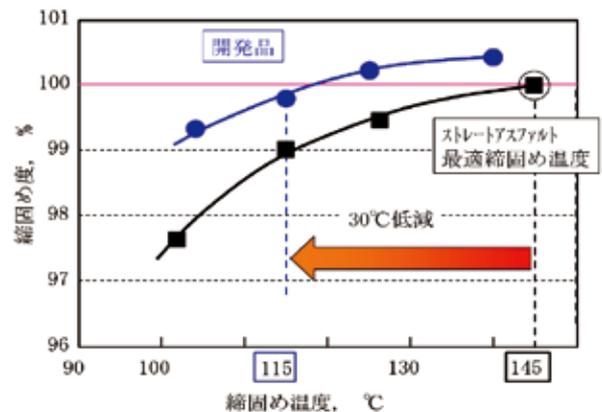


図9 締固め度評価結果

(2) マーシャル安定度

マーシャル安定度は、マーシャル安定度試験(写真1)(社団法人 日本道路協会「舗装試験法便覧」の3-7-1「マーシャル安定度試験方法」)により評価した。開発品の安定度

は、日本道路協会の基準値(4.9kN)を十分満足する値を示した。また、比較試料のストレートアスファルト 60/80 配合品と比べ若干小さいがほぼ同等であり、高温時における軟弱化に対する安定性は問題ないことが確認された(表 5、図 10)。



写真1 マーシャル安定度試験機

表 5 混合物試験結果

	開発品	ストレートアスファルト	基準値
締固め温度, °C	115	145	-
空隙率, %	4.3	4.1	3 - 6
マーシャル安定度, kN	11.0	12.0	4.9 以上
残留安定度, %	90.7	97.3	75 以上
動的安定度, 回/mm	780	930	500 以上

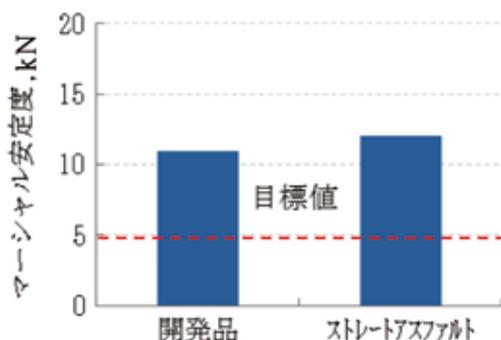


図 10 マーシャル安定度試験結果

(3) 動的安定度 (DS : Dynamic Stability)

動的安定度(耐流動性)は、ホイールトラッキング試験(写真 2)(社団法人 日本道路協会「舗装試験法便覧」の 3-7-3「ホイールトラッキング試験方法」)により評価した。開発品の動的安定度は、一般的な目標値の 500 回/mm 以上を十分満足する値を示した。また、比較試料のストレートアスファルト 60/80 配合品とほぼ同等であり耐流動性に問題が無いことが確認された(図 11)。



写真2 ホイールトラッキング試験機

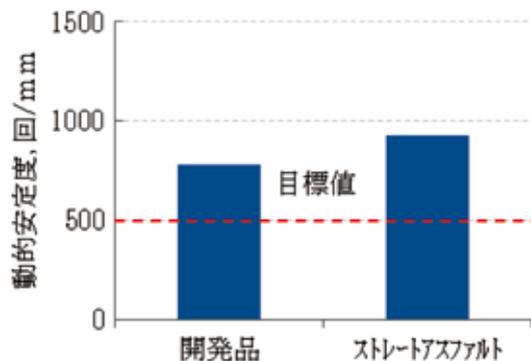


図 11 ホイールトラッキング試験結果(動的安定度)

4. おわりに

石油精製過程で生産される種々の特性を有するアスファルト基材を選定・混合することで、中温化剤を使用しない、新たなタイプの中温化アスファルトを開発した。

本アスファルトは、まだ実験室段階で、なおかつ特殊アスファルト基材を使用した検討が中心であったことから、今後、スケールアップの検討や汎用基材を使った検討などを進める必要がある。

現在、二酸化炭素排出量削減など地球環境に配慮した取り組みが積極的に行われている中で、今回開発した中温化アスファルトが道路舗装面から大いに貢献していくとともに、石油業界にとっては、副産物の有効利用・付加価値向上に繋がっていくことが期待される。

— 引用文献 —

- 1) 社団法人 日本道路建設業協会；中温化アスファルト舗装の手引き(2012年3月)
- 2) 長谷川；「講座 舗装用材料のつくり方 アスファルト」1999年, 舗装, Vol.34, No.6, P31
- 3) 特開 2006-22287「アスファルト組成物」
- 4) 石油学会規格「アスファルトのカラムクロマトグラフィーによる組成分析法」(JPI-5S-22)
- 5) Nellensteyn F.T；“Beveiding eg constitute van asphalt”, Dissertie Technische Hoogesc hool, Delft (1923)
- 6) 塚越徹；「SUPERPAVEによるわが国のアスファルト評価」, アスファルト, Vol.39, No.190, P10 (1997)
- 7) 立石大作；「長寿命舗装の耐久性評価に関する試験調査」, 土木研究所 平成8年度部外研究員報告要版, p5-8
- 8) 社団法人 日本道路協会；舗装試験法便覧, 「ダイナミックシェアレオメータを用いたバインダーのレオロジー性状の測定方法」